

# 反K中間子束縛原子核探索のための 中性子カウンターの性能評価 @ELPH

東北大理，原科研<sup>A</sup>，理研<sup>B</sup>，阪大理<sup>C</sup>，高エネ研<sup>D</sup>

木村佑斗，程田英斗，大西宏明，橋本直<sup>A</sup>，七村拓野<sup>A</sup>，  
佐久間史典<sup>B</sup>，馬越<sup>B</sup>，康澤文，小島銀河，  
宮部学，時安敦史，赤石貴也<sup>C</sup>，山我拓巳<sup>D</sup>

For the J-PARC E80 Collaboration



2024/03/19

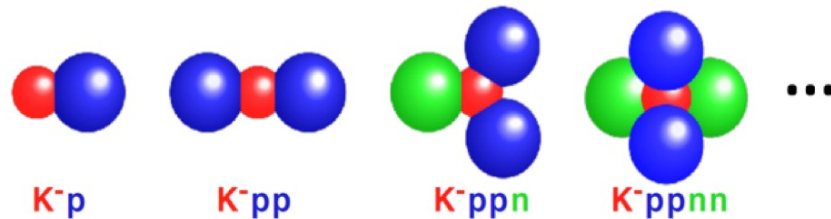
日本物理学会 2024年春季大会

19aV2

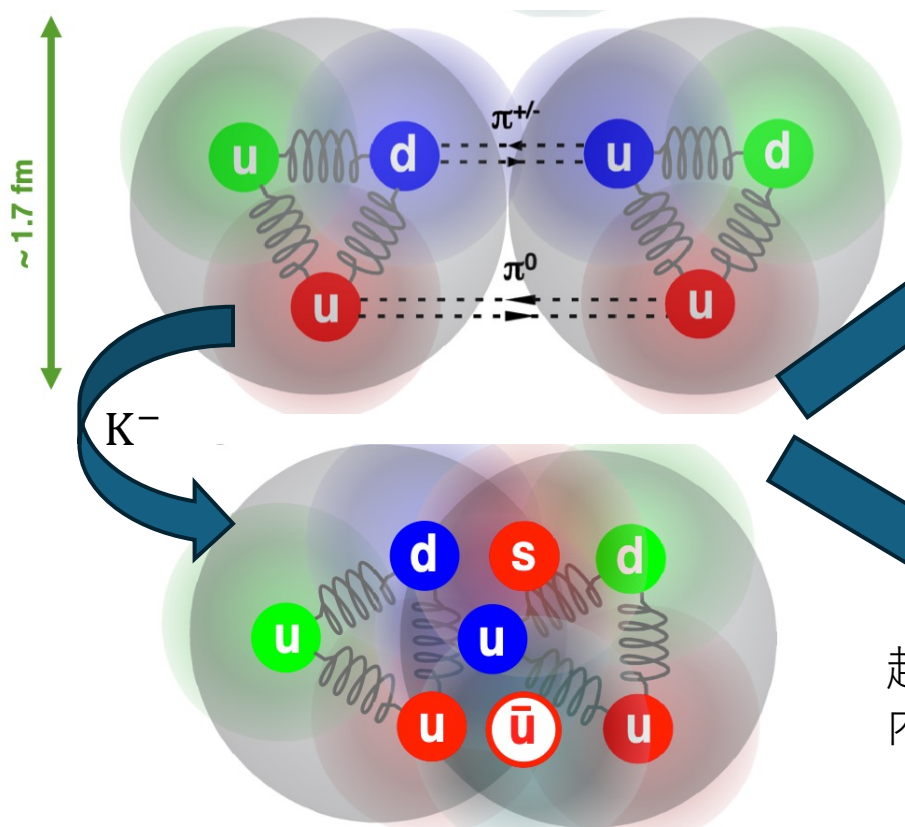
# 目次

1. 反K中間子原子核
2.  $\bar{K}NN$ 束縛状態「J-PARC E15」
3. 「J-PARC E80実験」とその先の系統的研究
4. 検出器システム(CDS)の改良
5. 円筒型中性子カウンター(CNC)
6. テスト実験@ELPH
7. まとめ

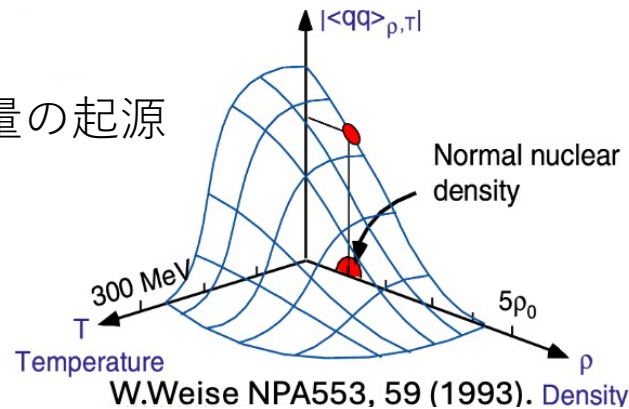
# 1. 反K中間子束縛原子核



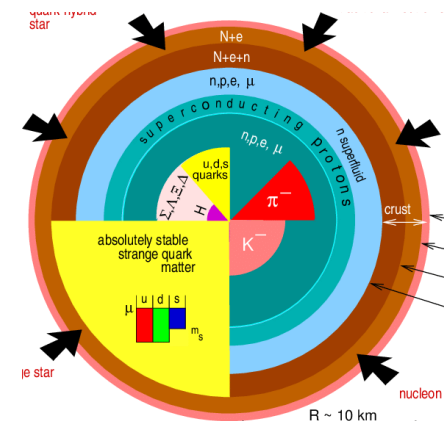
- ・ 実粒子として振る舞う中間子が核子と共存した新奇な原子核
- ・  $\bar{K}N$ 間に働く強い引力が引き起こす、原子核を超える高密度状態



QCD質量の起源



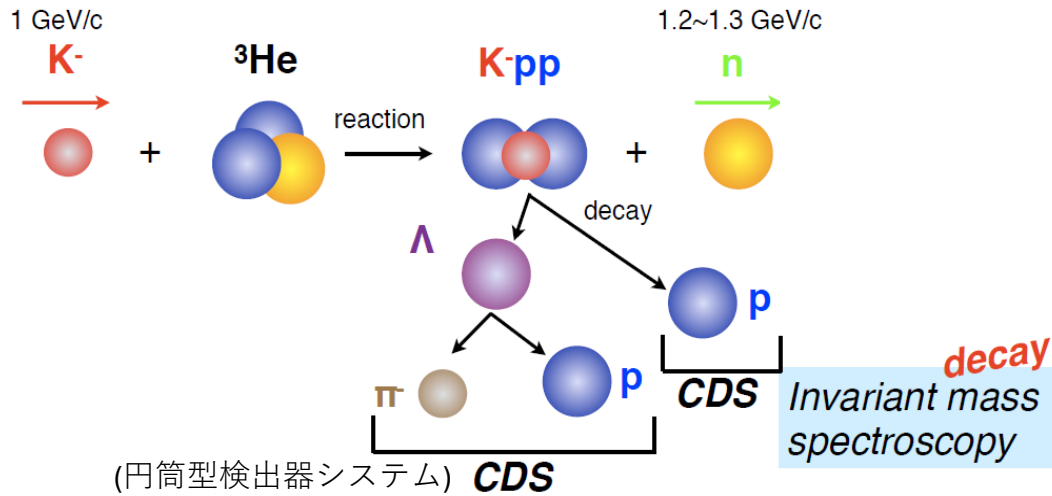
超高密度物質の内部構造



F. Weber, PPNP 54(2005)193.

# 2. $\bar{K}NN$ 束縛状態 「J-PARC E15実験」

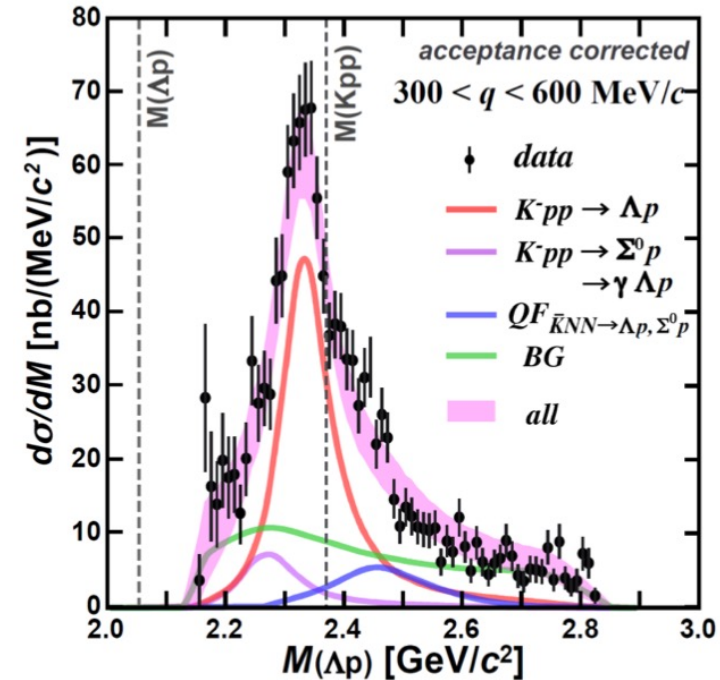
- K1.8BRビームラインで" $K^-pp$ "の決定的なシグナルを得た実験



束縛エネルギー  $\sim 50$  MeV  
崩壊幅  $\sim 100$  MeV

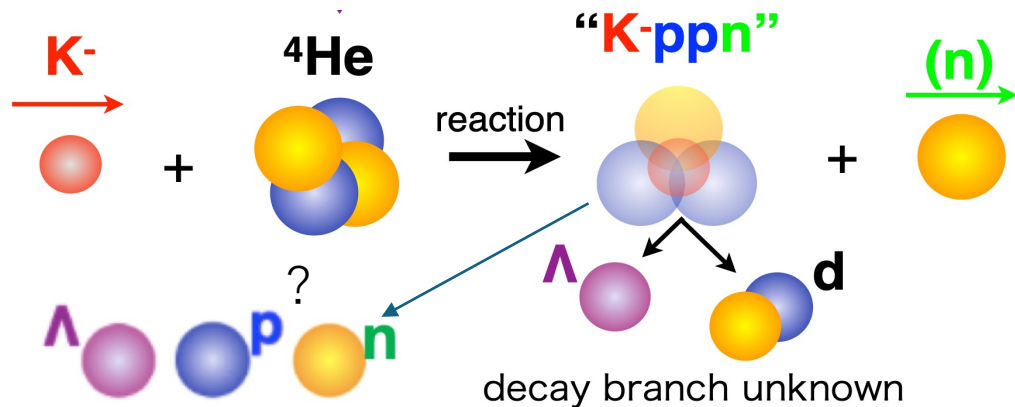
- 通常の原子核より約10倍大きな束縛エネルギー

PLB789(2019)620., PRC102(2020)044002.



# 3. 「J-PARC E80実験」とその先の系統的研究

## ・ $\bar{K}NN$ 探索(E80)



さらなる理解のため、以下の実験を計画

- ・  $\bar{K}NN$ のスピン・パリティ測定(J-PARC P89)
- ・  $\bar{K}NNNN$ 探索
- ・  $\bar{K}\bar{K}NN$ 探索

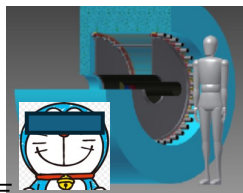
崩壊粒子の増加(E15に比べて) → 検出器の大立体角化

崩壊粒子に中性子を含む → 中性子の検出効率向上

# 4. 検出器システム(CDS)の改良

E15 のCDSからの主な改良点

- ・ **大立体角化(59%→93%)**  
 ⇒実験の効率化、  
 より広い運動学的領域のデータ収集



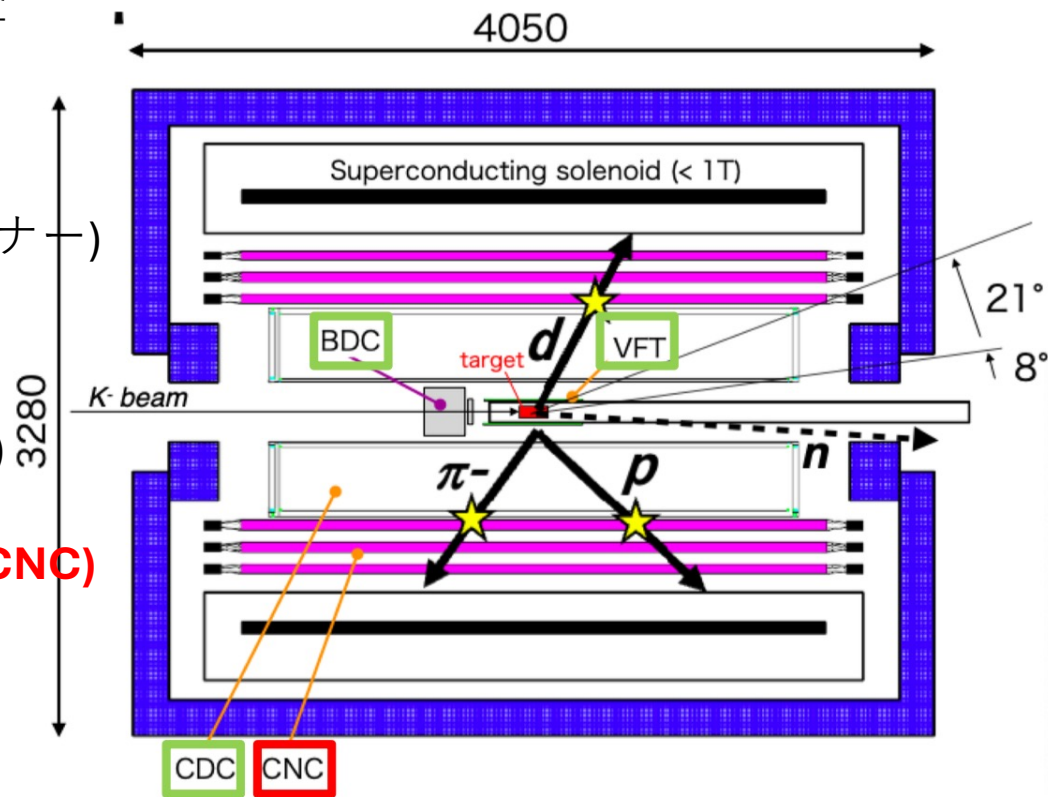
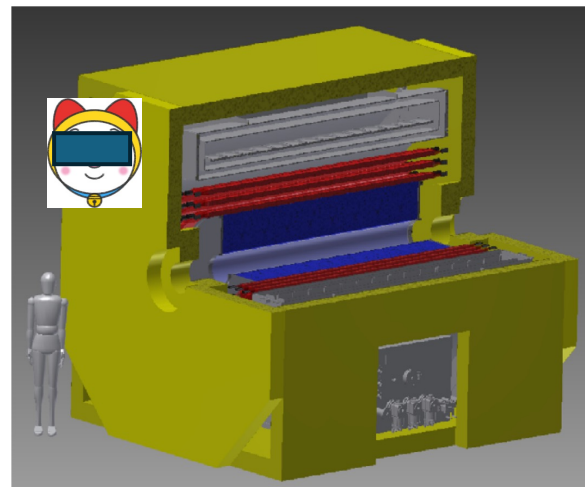
- ・ **中性子検出能力の向上 (3% → 15%)**

⇒中性子を含む崩壊モードの調査

- $K^- ppn \rightarrow \Lambda + p + n$   
(J-PARC E80の目的)
- $\overline{K}^0 nn \rightarrow \Lambda + n$   
( $K^- pp$ のアイソスピンパートナー)

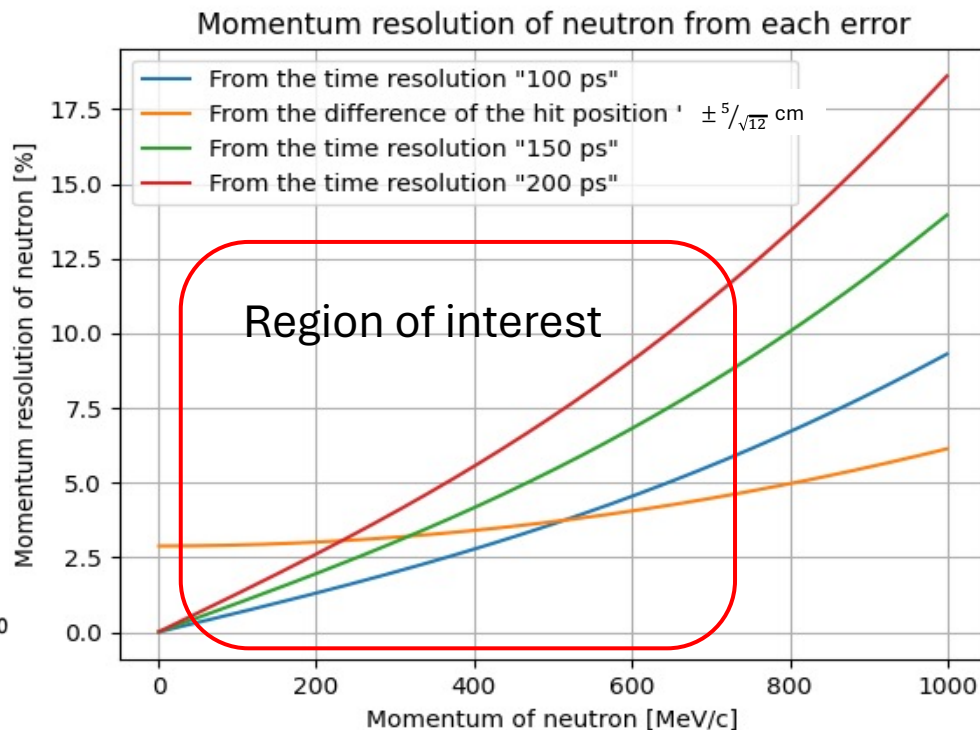
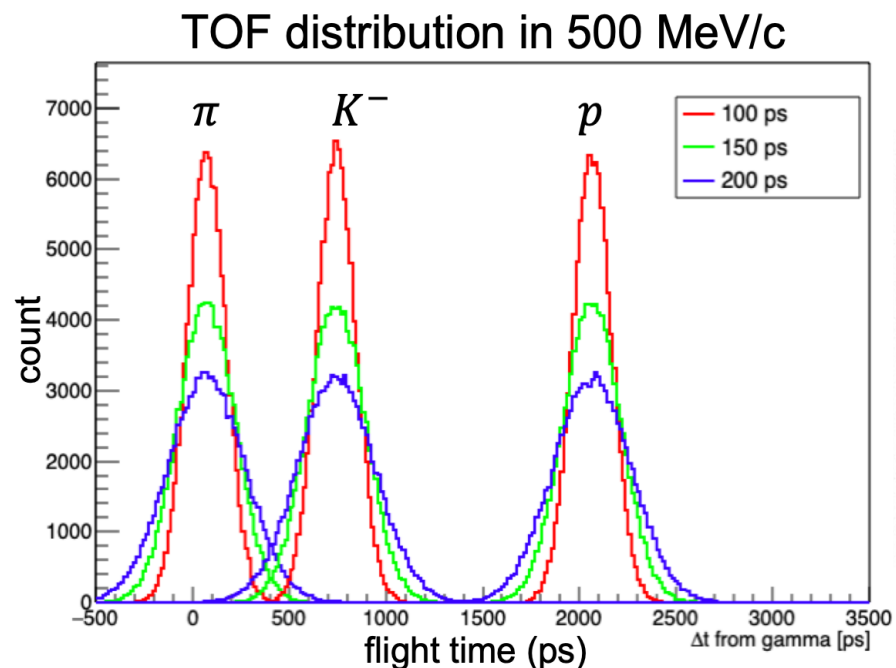
新CDSについて

- ・ Vertex Fiber Tracker (VFT)
- ・ Cylindrical Drift Chamber (CDC)
- ・ Beam Drift Chamber (BDC)
- ・ **Cylindrical Neutron Counter (CNC)**
  - ・ トリガー
  - ・ TOF法による粒子識別
  - ・ 中性子の検出と  
その運動量の決定



# 5. 円筒型中性子カウンター (CNC)

TOF Length 50 cm, CNCの厚さ5 cm として時間分解能要求値の見積もり



(最低限の)要求性能：時間分解能  $\sigma = 150$  ps

$\sigma_{thick} \sim \sigma_{TOF}$  となるような時間分解能

# 5. 円筒型中性子カウンター (CNC)

## CNCの厚さを5cm × 3層にした理由

- CNC用のスペース(約15 cm) (Polarimeter trackerを挟む予定)
- 厚さによる中性子ヒット位置の不定性の運動量分解能への影響
- 形状による時間分解能の変化

## プロトタイプ

- プラスチックシンチレータ(EJ-200) 2600\*120\*50 mm
- ライトガイド 115 mm
- 光電子増倍管(Hamamatsu H8409)



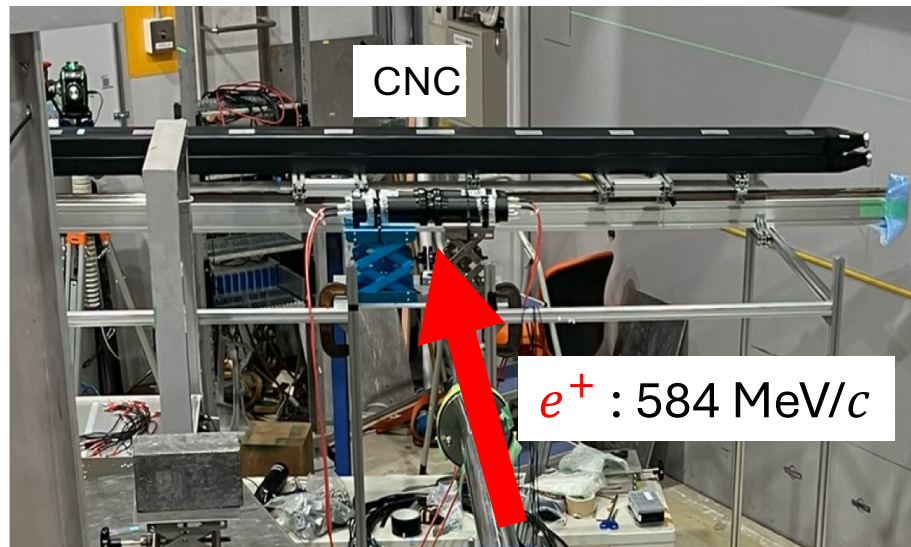
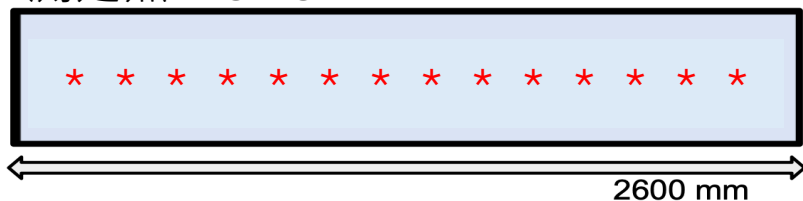


# 6. テスト実験 @ELPH

## 目的1

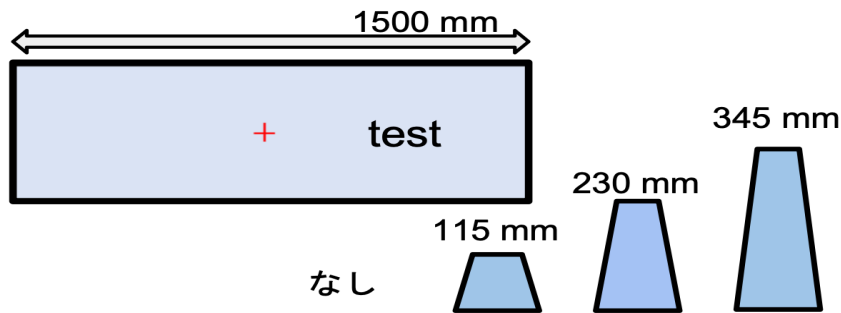
- 要求性能を満たすか。
- 時間分解能の位置依存性
- 2つの全く同じ形状のプロトタイプでそれぞれ測定

測定点 CNC

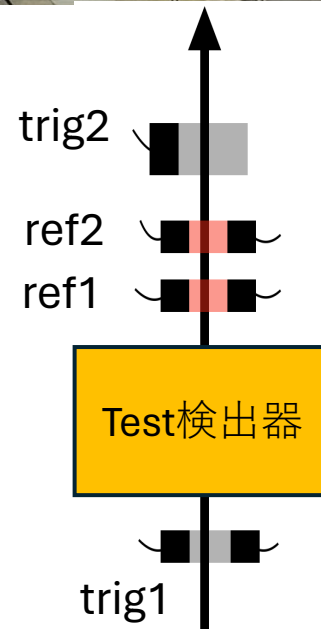


## 目的2

- 時間分解能のライトガイドの長さ依存性を調査
- 1500\*120\*50 mmのプラスチックシンチレータ, PMT(CNCと同じ)
- ライトガイドの長さを変えて(全4通り)測定

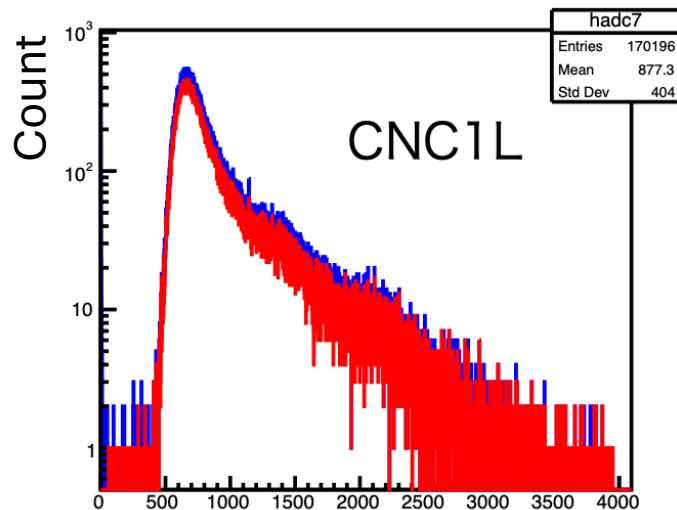
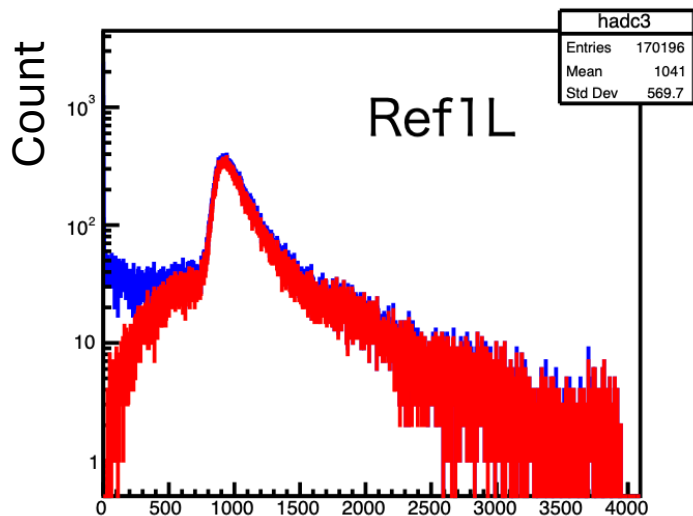


$\sigma_{ref} \sim 30 \text{ ps}$



トリガーレート  $\sim 1 \text{ kHz}$

# 6. テスト実験 @ELPH Typical QDC & Wave Form Position = -120 cm

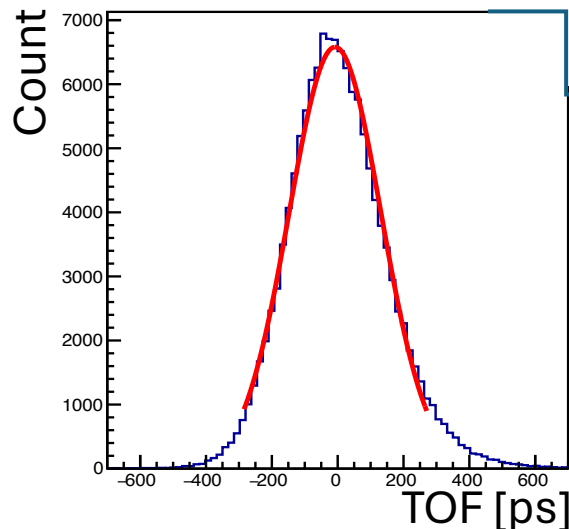


青：生のデータ

QDC [ch]

QDC [ch]

赤：全ての検出器のヒットを要求 → TOF計算に使用



Slewing correction後のref1- CNC1のTOF

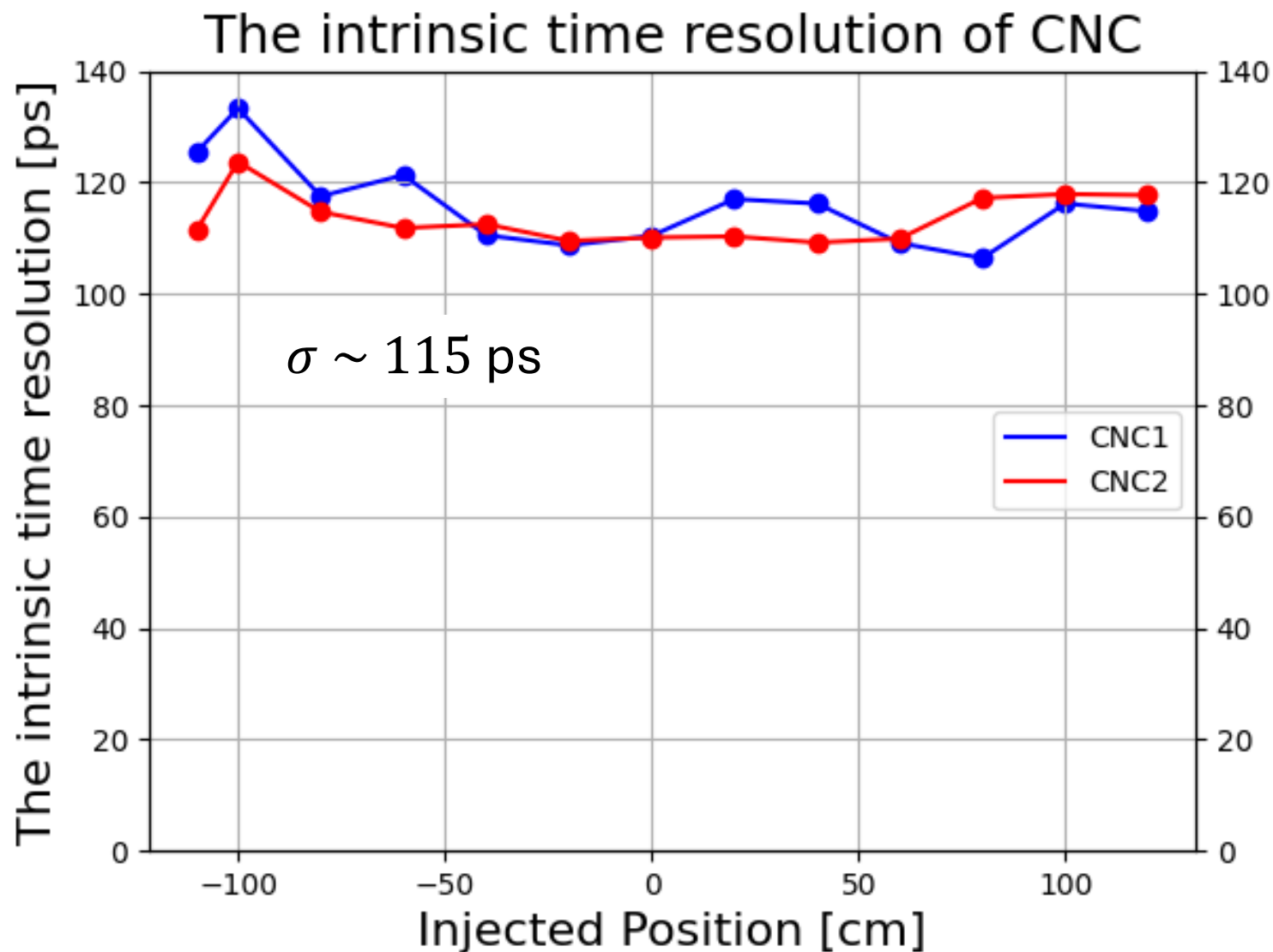
- ガウス関数でFitting(範囲は $2\sigma$ )

3組のTOFの分解能より、カウンター固有の時間分解能を計算

$$\begin{aligned}\sigma_{12}^2 &= \sigma_1^2 + \sigma_2^2 \\ \sigma_{23}^2 &= \sigma_2^2 + \sigma_3^2 \\ \sigma_{31}^2 &= \sigma_3^2 + \sigma_1^2\end{aligned}$$

# 6. テスト実験 @ELPH

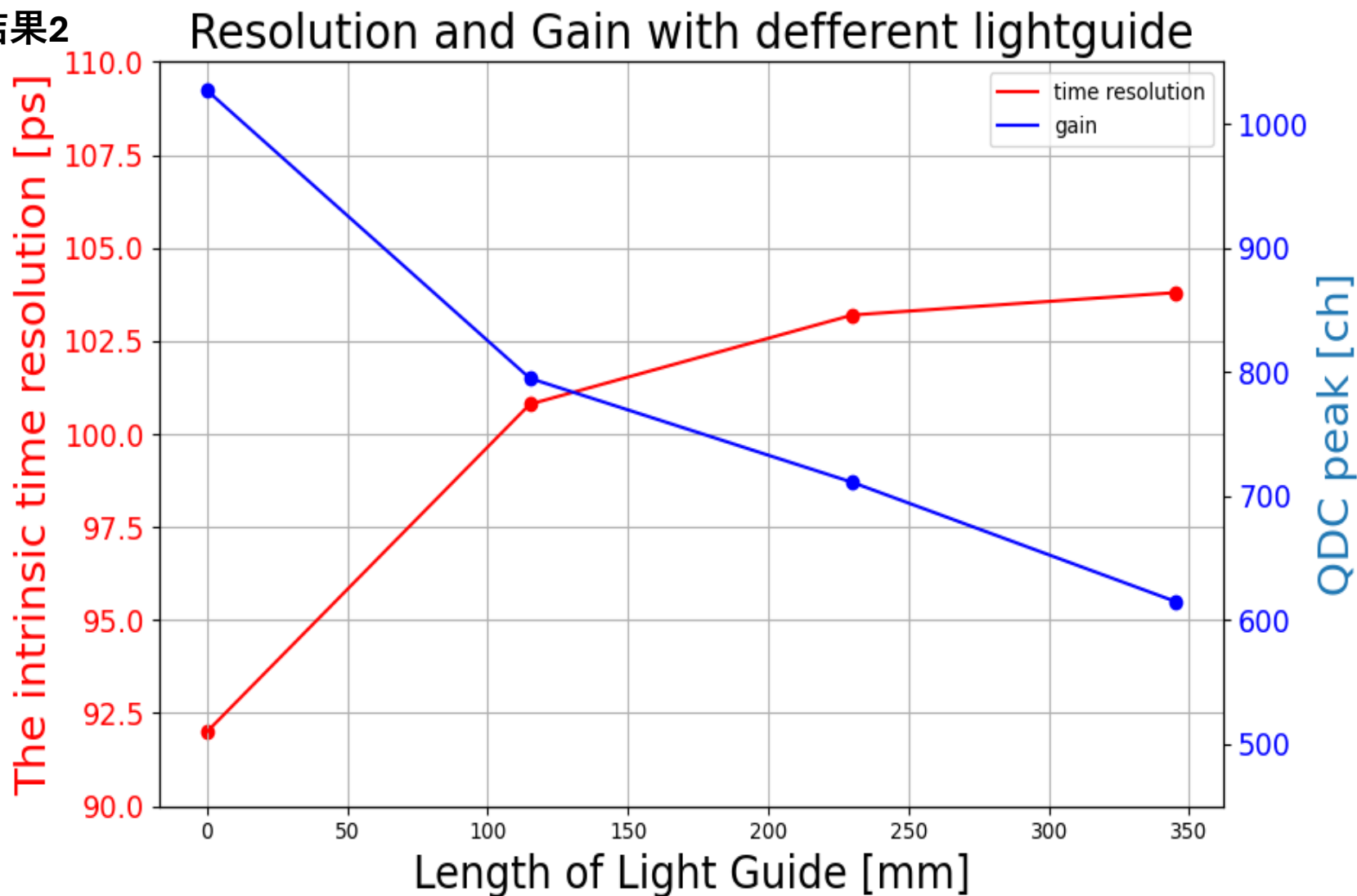
結果1



- 要求性能を満足
- 明確な位置依存性は無し

# 6. テスト実験 @ELPH

結果2

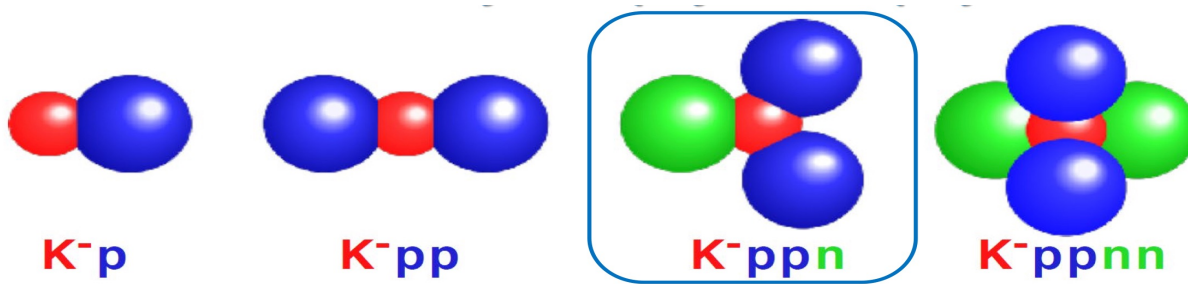


- ライトガイドが短い方が光量が多く、良い時間分解能

# 7. まとめ

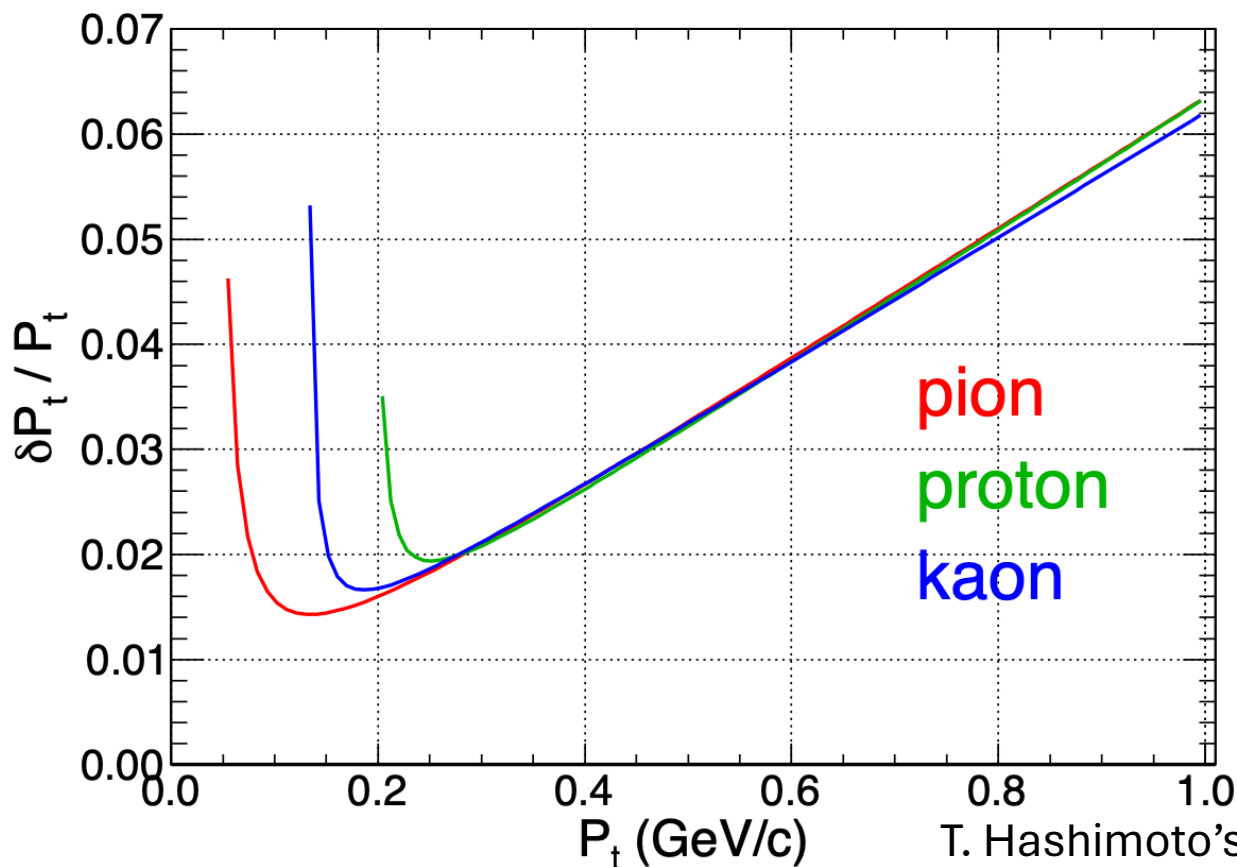
- 反K中間子束縛原子核の調査をさらに進めるために、我々J-PARC E80実験グループは大立体角化と中性子検出効率を向上させた新しいスペクトロメータを建設中。
- その中でメイン検出器となるCNCプロトタイプの時間分解能評価をELPHのGeV- $\gamma$ 照射室の陽電子ビームラインで行った。
- 結果、CNCの時間分解能は要求値を満たし、明確な位置依存性は無かった。
- 本実験結果を材料にし、CNCのデザイン最終決定&製作に向けて議論していく。

## 反K中間子原子核の系統的調査の第一歩



ご清聴ありがとうございました。

# Back-Up. 荷電粒子の運動量分解能

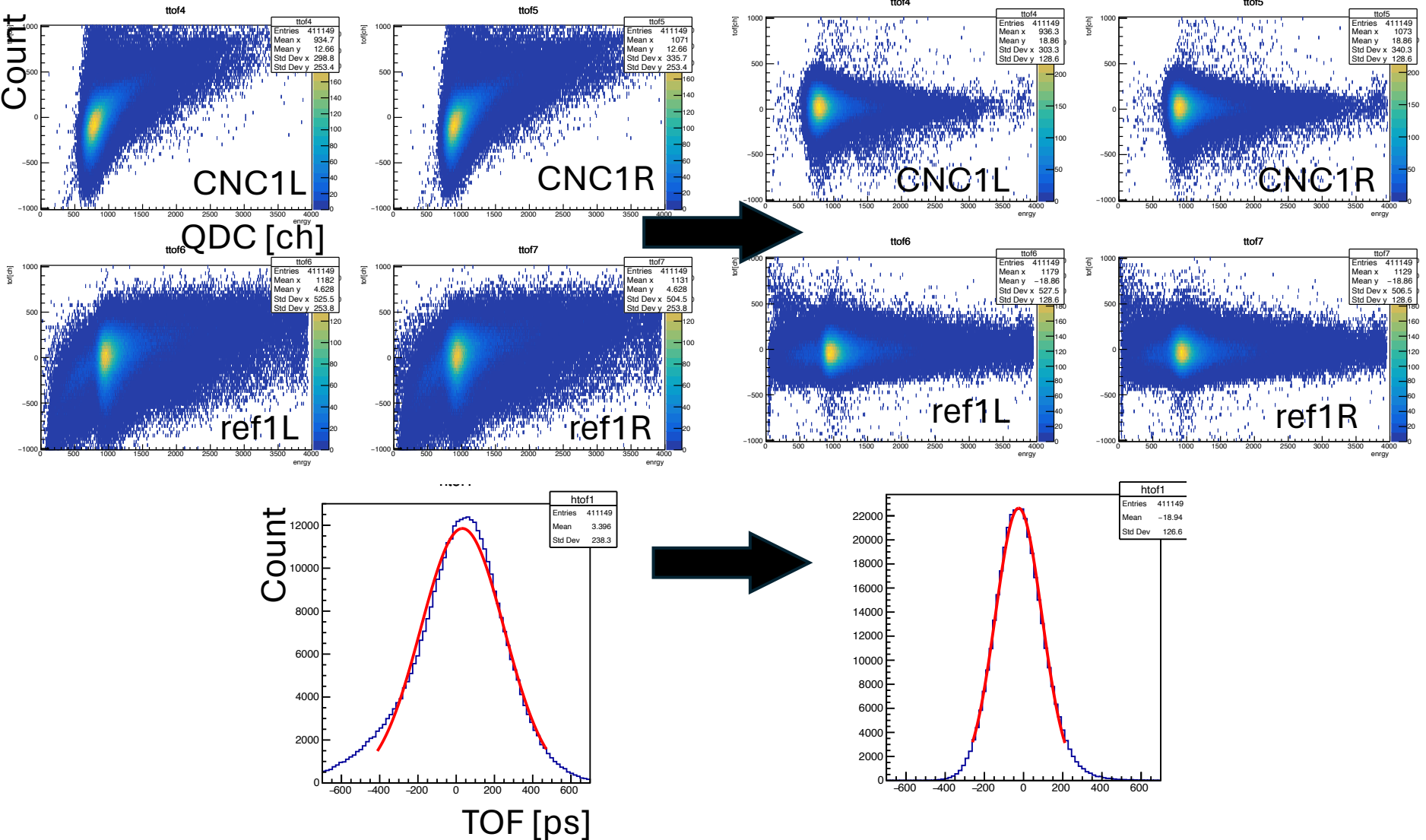


The simulated  $p_t$  resolution of the CDC single track for each particle species.

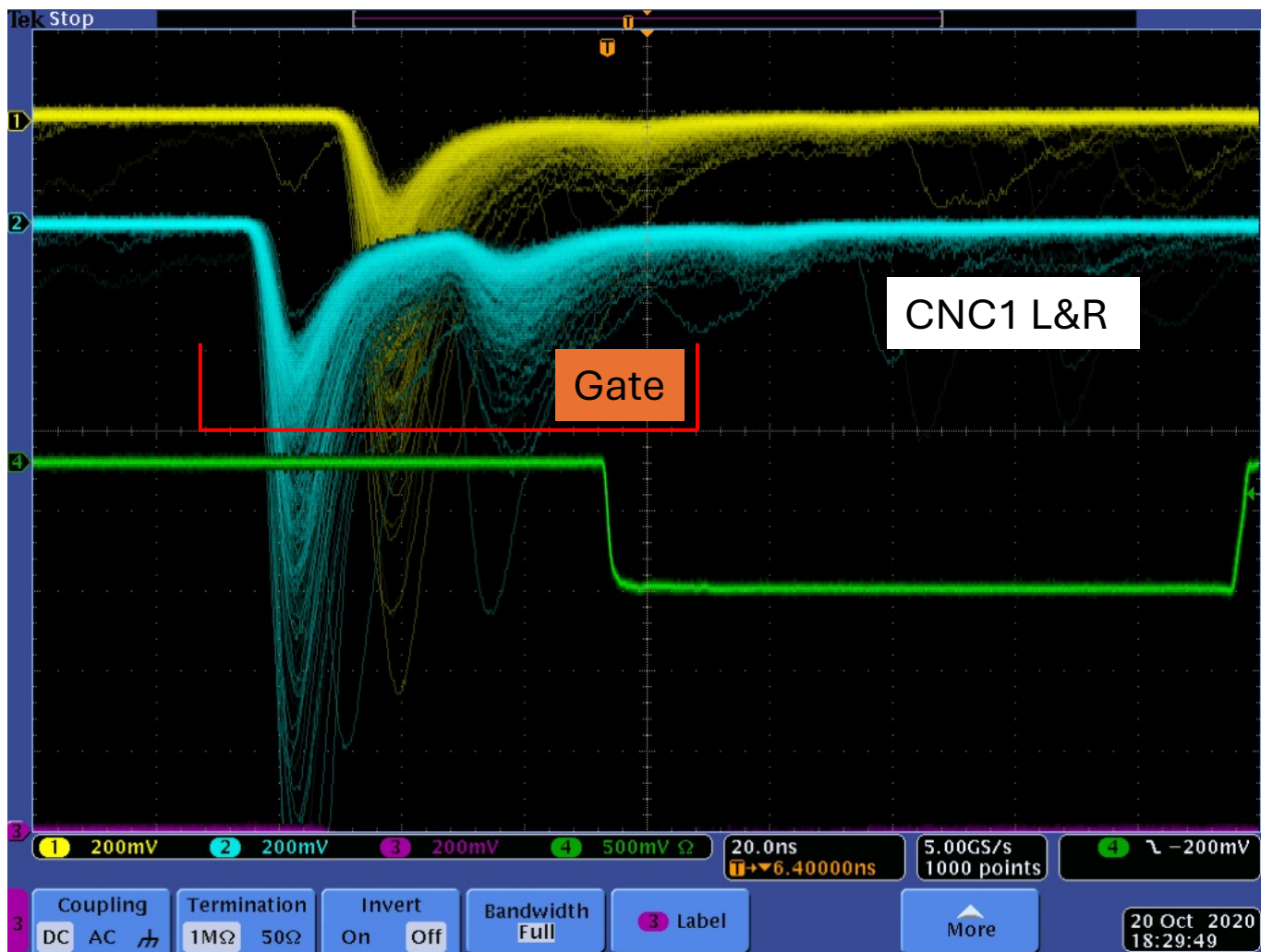
- 運動量分解能にメインで効くのはビーム軸に対して垂直方向の運動量の分解能
- 悪いところで~6%
- 中性子の運動量分解能も同程度が理想だが、、、

# Back-Up. Slewing補正の例

CNC1 vs ref1の組, Position = 0 cm (横軸: シグナルのエネルギー [ch], 縦軸: TOF [ps])

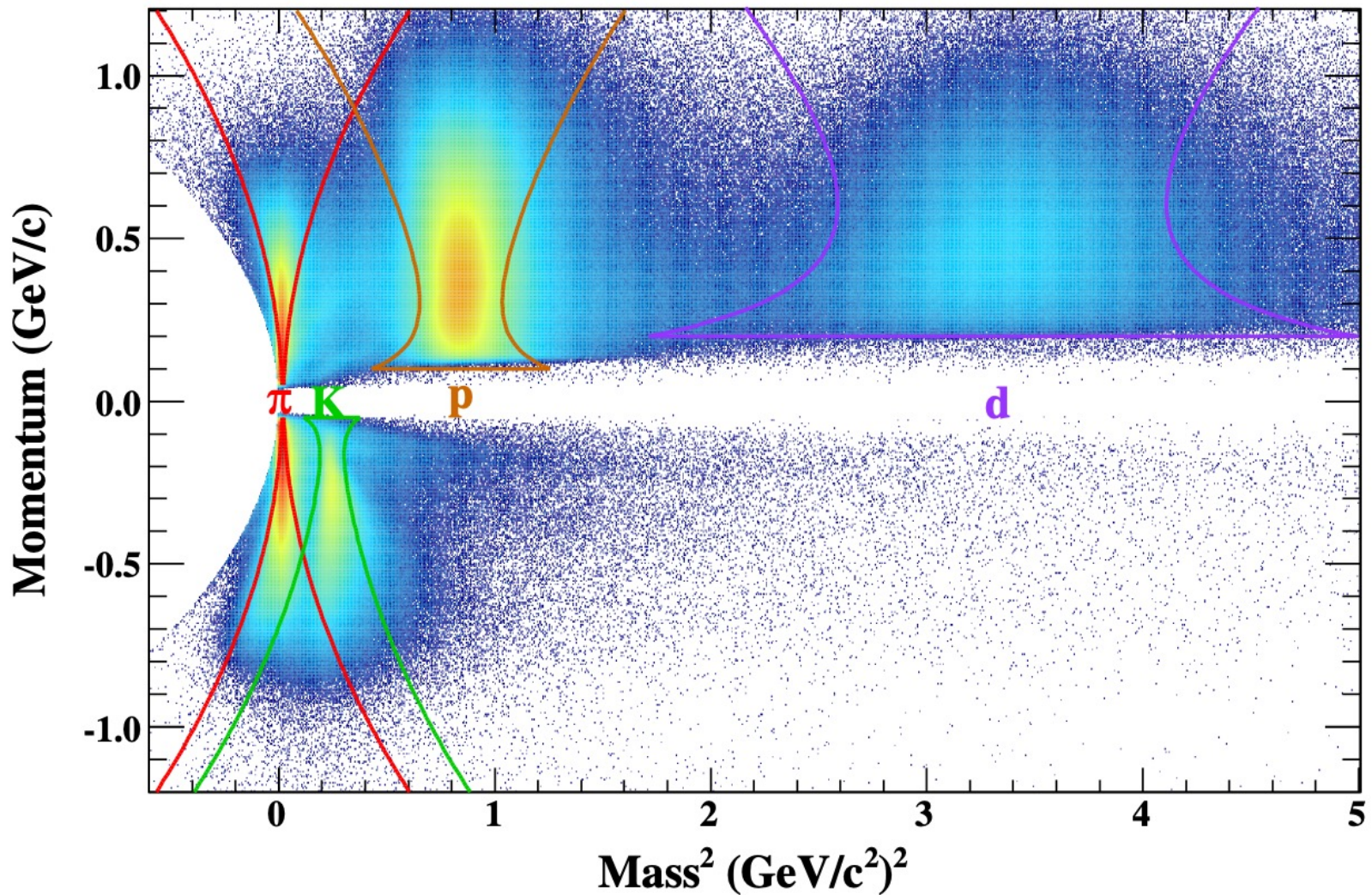


# Back-Up. 波形





# Back-Up. 今後の計画



Momentum and mass-square distribution measured by the CDS

# Back-Up. 今後の計画

	FY2022				FY2023				FY2024				FY2025				FY2026-			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
<b>SC Sorenoïd</b>	Design		Purchase (Yoke, SC wire)		Construction				Installation & test				<b>Integration</b>	<b>Commissioning</b>	<b>Physics run</b>					
<b>CNC</b>	Design & prototype test						purchase & assemble		test & commissioning											
<b>CDC</b>	Design				Construction		test & commissioning													
<b>VFT</b>	prototype test & performance evaluation				production		test & commissioning													
<b>K1.8BR beam line</b>	E73 (lifetime measurement of hypertriton) experiment						E72 ( $\Lambda^*$ resonance search with HypTPC)		area rearrangement		<b>with new CDS</b>									